第48卷 第1期
2025年1月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 48 No. 1
Jan. 2025

2000—2020年兰州市人口时空格局演变及驱动因素分析

马晓敏， 张志斌， 郭倩倩， 赵学伟， 张 宁

（西北师范大学地理与环境科学学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要：基于2000、2010年和2020年人口普查数据，运用偏移-分享法、随机森林模型等方法，揭示2000—2020年兰州市人口时空演变过程及其驱动因素。结果表明：(1) 兰州市不同时段、不同地域的人口增长差异显著，人口郊区化特征明显，且表现为从中心城区向远郊区的“跳跃式”扩散。其中，中心城区始终是吸纳人口最多地区，不过增速放缓；近郊区人口增速不断加快；远郊区人口呈先减少后快速增长态势。(2) 从人口偏移增长时空特征来看，以2010年为分界点，2010年前人口正偏移增长的街区主要分布于中心城区，而2010年后则转变为远郊区，特别是国家级新区、开发区人口增长更为明显，呈现“飞地型”人口集聚特征。(3) 从驱动因素来看，自然因素、经济因素、社会发展水平、历史沿革是人口空间演变的主要驱动力，政策因素与环境舒适度因素的影响逐步提升，且各重要驱动因子对人口分布的影响作用呈现非线性特征。研究结果对西北内陆城市人口布局优化调控政策具有参考意义。

关 键 词：人口分布；时空演变；郊区化；驱动因素；随机森林模型；兰州市

文章编号：1000－6060(2025)01－0168－11(0168～0178)

中国地域辽阔，人口众多，在全球化、工业化、城镇化的推进下，大规模的人口流动不断重塑着人口空间分布格局[1]。特别是进入21世纪，随着东部地区劳动力、土地等要素成本的上升，劳动密集型和部分资本密集型产业大量向中西部转移，吸引越来越多的人口回流。同时，西部大开发形成新格局、“一带一路”倡议、精准脱贫和乡村振兴等一系列国家政策的实施，西部地区迈入政策机遇叠加期和后发优势释放期，成为中国新型城镇化战略落地的主阵地[2-3]，其省会城市无疑是区域发展的引擎和人口空间变动最为剧烈的地区[4]。在此背景下，全面准确反映西部大城市人口分布的最新动态，探究其内在特征和驱动因素，对于把握区域人口均衡分布的趋势和机制以及促进人口布局优化、实现城市高质量发展具有重要现实意义。

人口分布的时空演化一直是城市地理学、城市经济学和城市规划学研究的热点[5]。自20世纪50年代以来，国外学者从理论上推导人口空间分布规律，提出了人口空间分布的负指数模型[6]、幂函数模型[7]、多核心模型[8]等一系列经典理论模型。20世纪50年代欧美等发达国家出现了人口郊区化趋势，城市空间形态相应地经历了从单中心到多中心的演变，郊区次中心大量兴起，中心城区普遍出现人口空心化现象。人口分布与流动[9-10]、人口郊区化与空间结构[11-12]、人口变化与社会现象关系研究[13-14]等成为国外学者关注的焦点。就国内而言，对人口空间分布及其郊区化的研究始于20世纪80年代，尽管相比西方国家晚了几十年，但已取得丰硕成果[15]。关于城市内部人口分布的研究主要集中在以下2方面：一是时空演化格局分析。通过对北京、上海、广州等东部大城市的研究表明，随着城市规模的逐渐扩大，中心城区人口密度不断下降，近郊区成为人口增长最为剧烈的区域[16-18]。二是影响因素研究。主要从自然、社会经济以及历史等方面探测人口空

收稿日期：2024-02-20； **修订日期**：2024-04-02
基金项目：国家自然科学基金项目(41961029)资助
作者简介：马晓敏(1997-)，女，博士研究生，主要从事城市与区域规划研究. E-mail: mxm202009@163.com
通讯作者：张志斌(1965-)，男，博士，教授，主要从事城市与区域规划研究. E-mail: zbzhang@nwnu.edu.cn

间分布的驱动因素。其中,气温、地形、海拔和河流等自然条件奠定了人口分布的基本格局[19-20];产业结构、城市化水平、人力资本以及公共服务设施等社会经济因素则是塑造人口分布格局的关键动力[21]。此外,不少学者认为人口空间分布还受到开发历史、政策因素的影响,城乡户籍制度、城市空间战略等成为驱动人口分布更为直接的因素[22]。

综合来看,现有研究对影响因素的分析多采用最小二乘法、多元回归等传统线性回归模型[23]。实际上,各影响因素对人口分布的作用存在局部的非线性关联和阈值效应,仅靠单纯的线性正相关或负相关关系不足以准确揭示其驱动的作用方向。而机器学习中的随机森林模型可以较好地预测自变量与因变量之间的非线性关系,有效识别自变量的影响范围[20]。加之,受系统资料限制,研究时段多为2010年及以前,采用最新"七普"数据的成果还不多见,且以东部经济发达城市为主,对西北内陆城市的关注明显不足。鉴于此,本文以兰州市为研究区域,分析近20 a人口分布的演化趋势和偏移增长过程,并借助随机森林模型剖析其驱动因子及非线性作用方式,以期为当前西北内陆城市人口布局优化调控以及新型城镇化建设提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

兰州市(102°35′~104°34′E,35°34′~37°07′N),位于中国陆域版图的几何中心,是甘肃省的省会,也是西北内陆具有重要影响力的中心城市。现辖城关、七里河、安宁、西固、红古5区及榆中、皋兰、永登3县。黄河自西南向东北穿城而过,市区南北群山对峙,形成带状哑铃形河谷盆地[24]。截至2020年,兰州市常住人口435.94×10⁴人,占全省总人口的17.42%。参考已有研究[25]并结合《兰州市城市总体规划(2011—2020年)》,以114个街道、乡镇(统一简称为街区)为最小研究单元,将城关、七里河、安宁、西固4区主要建成区共50个街区划为中心城区;将七里河和西固建成区以外的全部街区,红古的平安镇,榆中的和平、金崖镇,皋兰的忠和、九合、水阜镇,永登的苦水、树屏镇等21个街区划为近郊区;其余43个街区为远郊区(图1)。

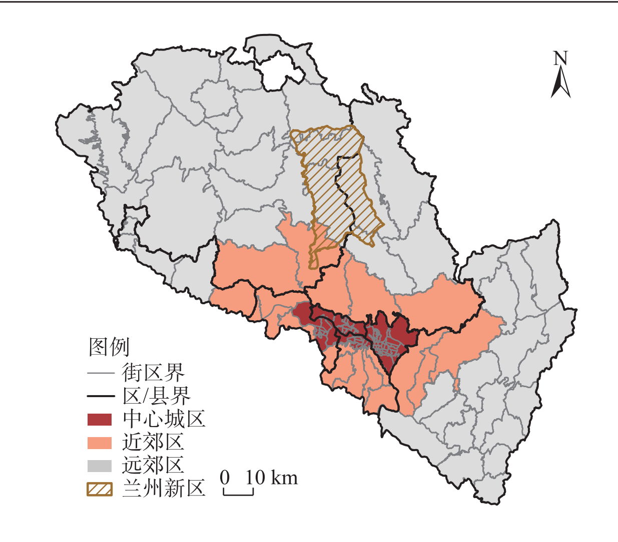


图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

1.2 数据来源

常住人口数据源于2000、2010年和2020年《兰州市人口普查年鉴》,行政边界数据来源于国家基础地理信息数据库(http://ngcc.sbsm.gov.cn)。由于行政区划调整,街区数量有所变化,为保证数据的延续性和可比性,从行政区划网、兰州市政府、兰州市统计局等网站收集2000—2020年的行政区划变动信息,以2020年行政区划为标准进行人工核查与合并,实现该时段数据的精准对接。调整一致后,将属性数据与对应的街区空间数据进行关联,最终确定为114个行政单元。人口空间分布驱动因素指标的数据来源详见表2。

1.3 研究方法

1.3.1 *反距离权重插值法* 传统的以街区为图斑单元进行分级制图的空间表达方式虽有助于揭示空间差异,但其差异边界不够明显,直观性较差[26],借助空间插值法能够呈现更为清晰的可视化效果。经比较克里金插值与反距离权重插值方法,最终选用效果最佳的反距离权重插值法将人口密度值赋予到研究基本单元中心点,获得街区尺度人口密度连续变化图层[21]。

1.3.2 *偏移-分享法* 为准确把握城市内部不同地区人口差异化增长状况,采用偏移-分享法对人口偏移增长过程进行分析。偏移增长量为正表示该街区人口增长速度相对平均水平而言较快,人口向该地区集聚;其值为负则说明该街区人口增长速度较慢,人口从该地区向外扩散[27]。

1.3.3 随机森林模型 随机森林模型是一种包含多个决策树分类器的机器学习算法，具有对大数据集处理方便，运算速度快、运算结果稳健，且能克服多重共线性问题的优点。研究基于R语言平台，经调试参数：运行模型中决策树的数目(ntree)=500，每个节点候选的变量个数(mtry)=7，其他默认。由拟合优度(R^2)和平均绝对误差(MAE)验证模型的精度，R^2越大，MAE越小，表示模型解释精度较高[20]。

2 结果与分析

2.1 兰州市人口空间分布变动特征

2.1.1 市域尺度人口空间变动 从表1可以看出，市域尺度下人口空间变动呈现以下特征：(1) 近20 a兰州市不同时段、不同地域的人口增长差异显著。中心城区始终是人口增长最多的地区，但近年来增速放缓；近郊区2000—2010年人口数量增长多于远郊区，而2010—2020年人口数量增长少于远郊区；远郊区人口呈先减少后快速增长态势，2000—2010年人口数量为负增长，而2010—2020年人口数量增加了14.18×10⁴人(近郊区增加6.74×10⁴人)，增幅超过了近郊区。(2) 中心城区与郊区之间人口"二元结构"十分突出。2020年中心城区仅占全市8.09%的面积，却拥有全市69.80%的人口，其人口密度是近郊区的31.10倍，远郊区的50.61倍。(3) 近20 a兰州市人口郊区化特征明显，2010—2020年远郊区人口增长超过近郊区，人口郊区化表现出明显的"远域扩张"特征。

2.1.2 街区尺度人口空间变动 利用反距离权重插值法对街区尺度的人口密度时空演变过程进行可视化分析。经K-S正态性检验发现各年份人口密度数据不具有正态性，故采用几何间隔法进行分级更能反映客观实际。在此基础上将人口密度分为6级，且将人口密度≥1462人·km⁻²的地区称为高密度区，210~1461人·km⁻²的地区为中密度区，≤209人·km⁻²的地区为低密度区(图2)。

2000年高密度区均位于中心城区，呈现出以城关区和西固区为核心的"双中心"结构，主要分布在城关区的酒泉路、白银路、皋兰路、张掖路街道和西固区的福利路、先锋路、西固城街道等38个街区，占总量的33.33%；中密度区主要位于中心城区与近郊区结合区域以及远郊区的重点镇，包括城关区的盐场路、伏龙坪街道，七里河区的秀川街道和彭家坪镇，安宁区的银滩路、沙井驿街道，西固区的新城

表1 2000—2020年兰州市各地区人口增长情况

Tab. 1 Population growth in each region of Lanzhou City from 2000 to 2010

地域	人口数量/10⁴人			人口密度/人·km⁻²			人口密度年均增长率/%	
	2000年	2010年	2020年	2000年	2010年	2020年	2000—2010年	2010—2020年
中心城区	174.48	228.87	282.27	3341.45	4383.15	5405.74	2.75	2.12
近郊区	40.19	40.88	47.62	146.67	149.67	173.77	0.17	1.54
远郊区	99.58	91.87	106.05	100.29	92.52	106.81	-0.81	1.45

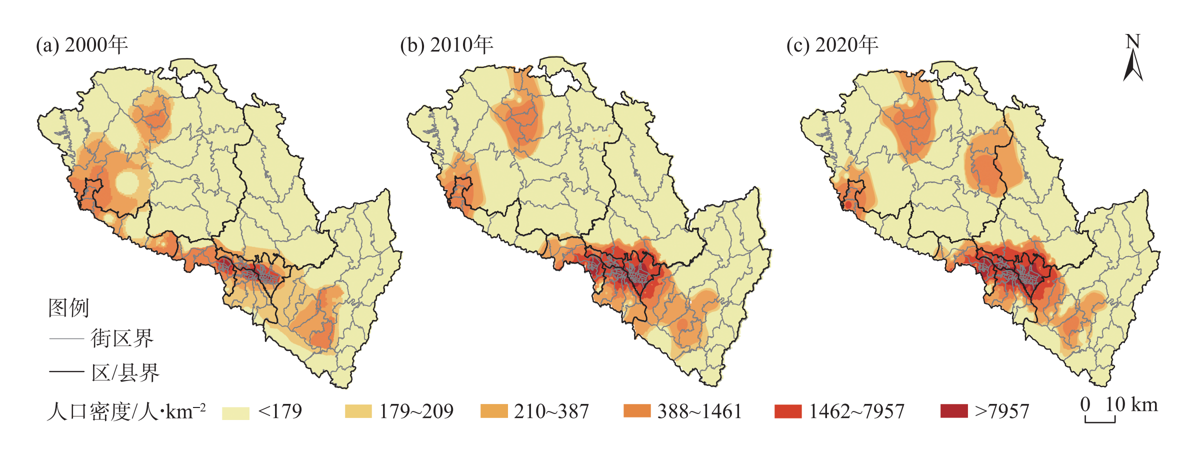


图2 2000—2020年兰州市人口密度空间格局

Fig. 2 Spatial patterns of population density in Lanzhou City from 2000 to 2020

镇，红古区的海石湾镇，永登县的城关镇，榆中县的和平镇等29个街区，占25.44%；低密度区主要位于近郊区和远郊区，包括西固区的河口镇，永登县的树屏、秦川、中川镇，皋兰县的忠和、黑石、西岔镇，榆中县的定远、甘草店镇等47个街区，占41.23%。

2010年“双中心”间高密度区不断得到填充，在空间范围上逐渐集聚形成了更大范围的人口密集区域，呈现由中心城区向外围递减的“核心-边缘”结构。高密度区增加了安宁区的银滩路、孔家崖、安宁堡街道，七里河区的秀川街道以及西固区的陈坪街道共5个街区，总计43个街区，占37.72%；中密度区减少了成为高密度的5个街区外，还包括七里河区的魏岭乡、榆中县的小康营乡和永登县的河桥镇（由中值区变为低值区），增加了榆中县的夏官营镇（由低值区转变为中值区），共22个街区，占19.30%；其余为低密度区，共49个街区，占42.98%。

2020年高密度区形成“中心城区连片、郊区分散分布”的空间格局。增加了城关区的盐场路街道、西固区的四季青街道以及七里河区的彭家坪镇和红古区的海石湾镇共4个街区，高密度街区达到47个，占41.23%；中密度区减少了成为高密度区的4个街区外，增加了皋兰县的西岔镇和永登县的秦川镇（由低值区转变为中值区），共计20个街区，占17.54%；剩余为低密度区，共计47个街区，占41.23%。可见，2000年以来人口高密度街区数量不断增多，中密度街区有所减少，低密度街区变动不大，人口呈现“向心集聚”的同时也表现出“离心扩散”的趋势。

2.2 兰州市人口偏移增长时空演变

2.2.1 人口偏移增长 采用偏移-分享法以2010年为界，进一步分析对比2000—2010年（图3a）与2010—2020年（图3b）不同地区人口偏移增长情况。

2000—2010年，人口偏移增长为正的街区36个，主要位于中心城区。人口正偏移增长量最大为雁南街道，其次为雁北街道。这2个街区位于雁滩，2000年以来雁滩凭借靠近老城区的区位以及较大的土地储备量，成为房地产开发的热点区域。同时，兰州高新技术开发区主体落户雁滩，使得其对人口吸引力不断增强。和平镇位居第三，其人口增长得益于和平工业园区的发展以及兰州财经大学、博文科技学院等高校的存在；人口偏移增长为负的街区78个，主要位于远郊区，人口负偏移增长较大的为民乐乡、武胜驿镇、黑石镇，这些街区地处兰州市边缘地带，常年有一定数量人口的跨区域外流。

2010—2020年，人口偏移增长为正的街区34个，主要位于远郊区。人口正偏移增长量最大的为中川镇，其次为西岔镇。这2个街区是兰州新区所在地，自2012年兰州新区成为国家级新区，其建设发展对人口的吸引力不断增强。秀川街道位居第三，该街区地处西固区、安宁区、七里河区接壤的“三滩”地区。随着兰州商业中心的西移、轨道交通1号线的开通，其人口集聚能力也不断增强；人口偏移增长为负的街区80个，主要位于中心城区。人口负偏移增长较大的为张掖路街道、西湖街道、先锋路街道。这些街区因处于市级商业中心地带，建城历史早，周边房价高，很大程度上制约了低收入群体的进入。总之，以2010年为分界点，2000年至2010年人口正偏移增长的街区主要分布在中心城区，而2010年至2020年主要在远郊区。特别是远郊的国家级新区、开发区所在地人口增长更为明显，呈现“飞地型”人口集聚特征。

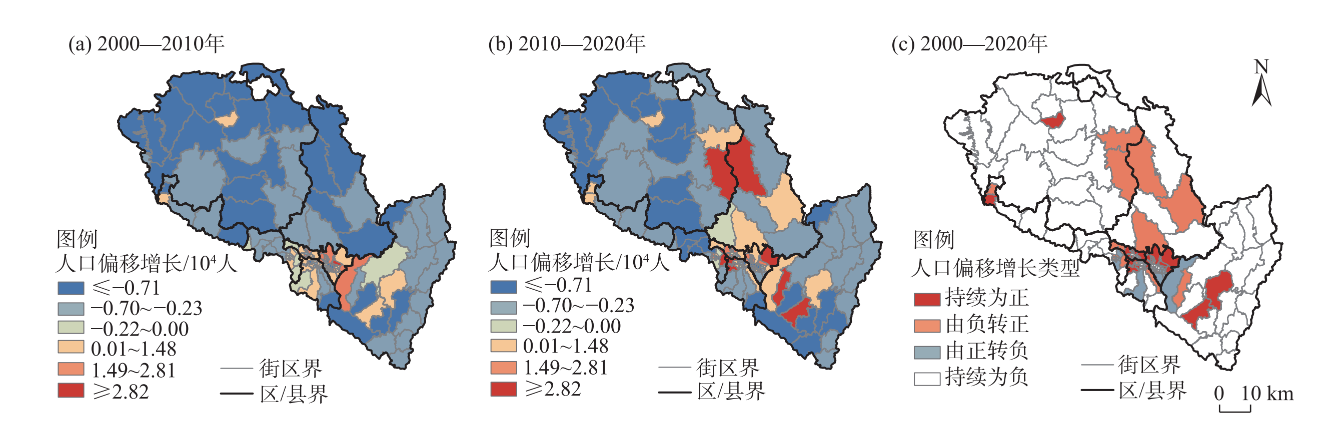


图3 2000—2020年兰州市人口偏移增长和及其类型

Fig. 3 Population shift growth and its types in Lanzhou City from 2000 to 2020

2.2.2 人口偏移增长类型 根据2000—2010年和2010—2020年2个时期人口偏移增长情况，将114个街区分为持续为正、由负转正、由正转负、持续为负4个类型(图3c)：

(1) 持续为正类型：即2个时期均为正偏移增长，主要分布在中心城区紧靠近郊区的区域，包括城关区的盐场路、青白石、靖远路、东岗街道，七里河的秀川、龚家湾街道和彭家坪镇，安宁区的安宁堡、银滩路街道等。同时，该类型在远郊区的大学城或行政中心零散分布，包括榆中县的夏官营、城关镇，永登县的城关镇和红古区的海石湾镇。持续为正类型街区18个，占总量的15.79%，人口集聚能力较强。

(2) 由负转正类型：即2000—2010年为负偏移增长、2010—2020年为正偏移增长，主要集中在近郊区和远郊区，涉及榆中县的定远镇，皋兰县的忠和、石洞镇，永登县的中川、秦川镇等街区，该类型街区16个，占14.03%，多为开发区和国家级新区所在地。

(3) 由正转负类型：即2000—2010年为正偏移增长、2010—2020年为负偏移增长。中心城区包括城关区的皋兰路、临夏路、雁南、拱星墩街道，七里河区的建兰路、敦煌路、西湖街道，西固区的福利路、先锋路、四季青街道等；近郊区包括七里河区的西果园镇和榆中县的和平镇，居民为谋求更好的发展和更高的收入向外流动。由正转负类型街区18个，占15.79%，人口集聚能力下降显著。

(4) 持续为负类型：即2个时期均为负偏移增长。中心城区包括城关区的张掖路、酒泉路、白银路、渭源路街道，西固区的福利路街道等。近郊区和远郊区包括西固区的达川、柳泉镇，永登县的民乐、七山乡，皋兰县的九合、黑石镇等，这些街区普遍规模偏小，受中心城区的“虹吸效应”明显。持续为负类型街区数量最多，占54.39%。

2.3 兰州市人口空间分布的驱动因素

2.3.1 指标选取 人口分布的影响因素十分复杂，需从自然环境、社会经济发展和历史条件等多维度进行系统分析[28]。为探讨近20 a兰州市人口分布的驱动因素，参考已有研究成果[19,21–23]，并结合兰州实际情况，以2000、2010年和2020年各街区的人口密度为因变量，从经济因素、社会发展水平、政策因素、历史沿革、环境舒适度、自然因素6个维度选取20个自变量构建指标体系(表2)：

(1) 经济因素：新古典经济学强调不均衡的区域经济格局是影响人口再分布的决定性因素，人口主要向经济发达地区集聚，城镇化发展水平高的区域可能人口增长更快[23]。因此采用各街区城镇人口占总人口比重表征城镇化水平；同时，选取就业人口和企业数量表征就业机会，夜间灯光指数表征经济发展水平[28]，住宅平均价格表征生活成本[29]。(2) 社会发展：随着人们生活条件的改善，区域公共服务设施状况也是影响人口居留的重要变量[30]。故选取交通、医疗、教育、购物、娱乐、金融设施数量表征社会发展水平。(3) 政策因素：国家级新区、开发区作为城市外延式扩展的重要空间载体，其特有的政策性功能对所在区域的经济、人口、形态的演化具有强烈的吸附作用[31]。选取国家级新区、开发区和省级开发区面积比率进行表征。(4) 历史沿革：兰州自1941年设市以来基本沿袭了清末的城市空间格局，以老城为中心的西关什字一带一直是人口集聚的核心区域[22]；“一五”时期，国家在兰州部署的“156项工程”中以“兰炼”“兰化”等为代表的大型骨干企业的落地形成统一规划的工业区和住宅区，集聚了大量人口。因此，选取老城区、老工业区面积比率进行表征。(5) 环境舒适度：基于环境舒适性的理论内涵[32]，人们往往受到一个地区良好舒适性的吸引而迁居到此，环境污染会影响其择居偏好，故选取各街区绿地面积比率以及$PM_{2.5}$对环境舒适度进行表征。(6) 自然因素：自然条件是城市地域结构形成和发展的基础，人口空间分布亦受其影响[19]，选取地形起伏度和年均降水量作为自然因素的表征变量。

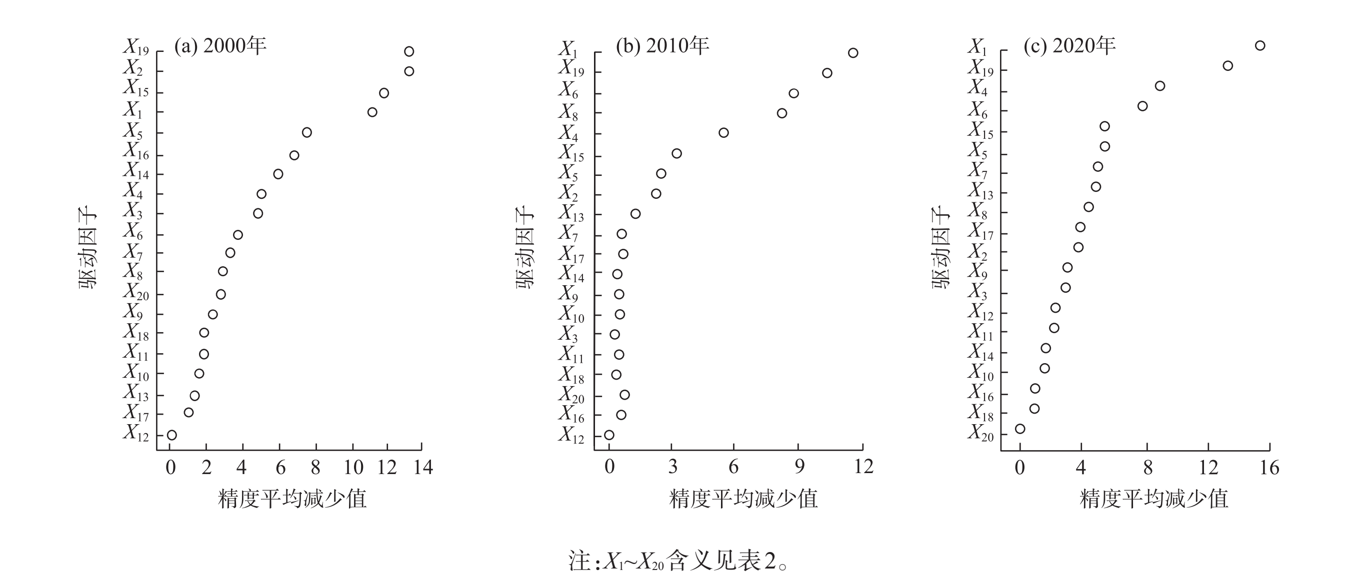
2.3.2 驱动因子重要性测度 随机森林回归精度的检验结果显示，2000、2010年和2020年随机森林回归的调整R^2分别为0.931、0.945和0.964，MAE分别为0.045、0.038和0.037，说明随机森林模型具有较好的拟合优度和较小的拟合误差，适合进行驱动因素重要性分析。

根据精度平均减少值(%IncMSE)得到各年份驱动因子的重要性排序情况(图4)。2000—2020年排序靠前的驱动因子重要性变动不大，自然因素、经济因素、社会发展水平、历史沿革是人口空间格局演变的主要驱动力。需要特别指出的是，国家级开发区因子的重要性排序由2000年的第17位上升

表2　变量描述

Tab. 2　Description of variables

维度	解释变量	指标说明	数据来源
经济因素	城镇化水平(X_1)	各街区城镇人口占总人口比重/%	2000、2010年和2020年兰州市人口普查数据
	就业人口(X_2)	各街区就业人口数量/个	2000、2010年和2020年兰州市人口普查数据
	经济发展水平(X_3)	街区内平均夜间灯光指数	2000、2010年和2020年的夜间灯光指数源于国家青藏高原科学数据中心(http://data.tpdc.ac.cn)
	生活成本(X_4)	各街区住宅平均销售价格/元·m^{-2}	2000、2010年和2020年的住宅销售价格源于安居客官网(https//:anjuke.com)
	企业数量(X_5)	各街区第二、三产业企业数量/个	2000、2010年和2020年兰州市工商管理局注册企业数据库
社会发展水平	交通设施(X_6)	各街区公交、地铁站点数量/个	2005年中国电信兰州黄页名录数据以及2010年和2020年高德POI
	医疗设施(X_7)	各街区诊所、综合医院数量/个	同上
	教育设施(X_8)	各街区幼儿园、中小学、高等院校数量/个	同上
	购物设施(X_9)	各街区商场、大型超市、便利店数量/个	同上
	娱乐设施(X_{10})	各街区影剧院、KTV、公园游乐园数量/个	同上
	金融设施(X_{11})	各街区银行数量/个	同上
政策因素	国家级新区(X_{12})	街区内国家级新区面积比率/%	国家级新区规划文件
	国家级开发区(X_{13})	街区内国家级开发区面积比率/%	国家级开发区规划文件
	省级开发区(X_{14})	街区内省级开发区面积比率/%	省级开发区规划文件
历史沿革	老城区(X_{15})	街区内老城区面积比率/%	参考既有文献划定(清末时期格局)
	老工业区(X_{16})	街区内老工业区面积比率/%	参考历版城市总体规划及政府文件划定
环境舒适度	城市绿地(X_{17})	街区内绿地面积比率/%	通过NDVI提取得到,2000、2010年和2020年的NDVI来源于中国科学院生态学科数据中心(http://www.nesdc.org.cn)
	$PM_{2.5}$(X_{18})	各街区$PM_{2.5}$浓度/μg·m^{-3}	2000、2010年和2020年的$PM_{2.5}$浓度来源于Zenodo欧洲科学数据开放平台(https://zenodo.org)
自然因素	地形起伏(X_{19})	各街区平均地形起伏度/m	通过DEM提取得到,2000、2010年和2020年DEM数据源于地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn/sources)
	降水量(X_{20})	各街区年均降水量/mm	兰州市气象局提供的兰州地区国家观测站点获得2000、2010年和2020年的年均降水数据



注:X_1~X_{20}含义见表2。

图4　2000—2020年人口分布空间格局驱动因子重要性排序

Fig. 4　Importance ranking of factors affecting the population density spatial pattern from 2000 to 2020

至2020年的第8位；国家级新区因子的重要性排序由2000年的第20位上升至2020年的第14位；城市绿地因子的重要性排序由2000年的第19位上升至2020年的第10位，说明政策因素与环境舒适度因素的影响逐步提升。而老工业区因子的重要性排序由2000年的第6位下降至2020年的17位，这与中心城区内工业企业"出城入园"产业政策的实施有关，一定程度上加快了人口转移的步伐。

2.3.3 重要驱动因子的非线性作用机制 由图4可知2020年与2000年排序前10位的共同驱动因子5个（X_1、X_4、X_5、X_{15}、X_{19}），与2010年排序前10位的共同驱动因子9个（X_1、X_4、X_5、X_6、X_7、X_8、X_{15}、X_{13}、X_{19}），同时考虑到X_{17}的重要性排序在2000—2020年上升最为明显，故选取以上（2020年重要性排序前10位）重要驱动因子考察其对人口密度分布的作用规律：

经济因素：城镇化水平与人口密度呈非线性的正相关关系，当城镇人口占总人口比重高于88%时，对人口密度分布的影响程度急速上升（图5a）；生活成本对人口数量的影响呈先升后降趋势（图5c），当住宅平均销售价格≤12800元·m^{-2}时，与人口密度呈非线性正相关关系，但当超过该值后对人口密度的影响呈下降趋势，表明房价过高会抑制人口的流入。兰州市大部分居民的经济水平与中、低层价位的房价水平相匹配，有高房价购买能力的群体相对

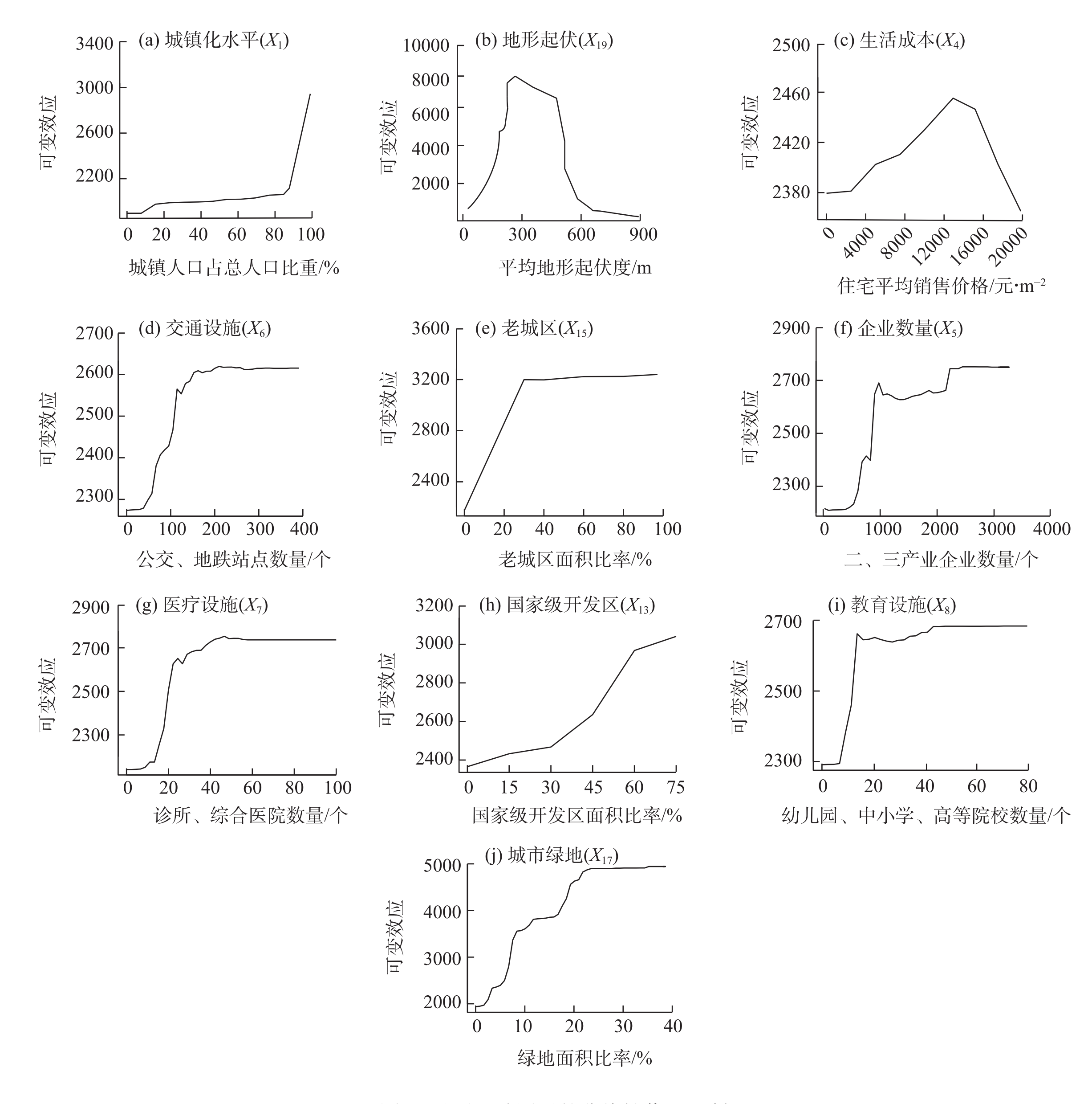


图5 重要驱动因子的非线性作用机制

Fig. 5 Nonlinear mechanism of important driving factors

较少；企业数量与人口密度呈非线性的正相关关系，其数量达到2300个时对人口密度的影响达到最大并保持不变(图5f)。街区数量较多的企业能够提供充裕的就业岗位，吸引劳动力流入，但随着岗位逐渐饱和，受集聚不经济效应影响超出一定阈值并不会使人口持续增长。

社会发展水平：交通设施与人口密度分布呈非线性正相关关系，当公交、地铁站点的数量达到210个时对人口密度影响达到最大(图5d)；医疗设施、教育设施与人口密度分布均呈非线性正相关关系，当其数量分别达到48个、44个时对人口密度影响达到最大，此后趋于平稳(图5g、i)。

政策因素：以国家级开发区表征的政策因素与人口密度呈非线性正相关关系。当街区国家级开发区面积比率达到45%~60%时，对人口密度分布的影响呈急速上升趋势(图5h)。随着兰州经济技术开发区、兰州高新技术开发区的增容扩区，持续吸引企业入驻，成为吸引城市新增人口的“蓄水池”。

历史沿革：以老城区为表征的历史沿革对人口密度影响较大，当街区老城区面积比率低于30%时，对人口密度的提升明显(图5e)。完善的城市基础设施与文化底蕴使得老城区始终作为城市的核心，有着无法取代的历史价值和意义，对人口产生了独特的吸引力。

环境舒适度：以城市绿地表征的环境舒适度与人口密度呈非线性正相关关系。当街区绿地面积比率达到35%时影响程度达到最大并保持不变(图5j)，反映出绿化投入度在一定程度上能提升宜居性，吸引人口集聚。

自然因素：地形起伏对人口密度分布的影响程度作用规律呈倒“U”型变动关系。当地形起伏度低于270 m时，与人口密度呈正相关关系，超过该值后呈负相关关系(图5b)。兰州属典型河谷型城市，人口分布深受地形等自然条件的制约与影响。城市主体一般在河谷的第二、第三级阶地上先行发展，再向外围或向山上逐步延伸，因此人口主要集中在河谷阶地，而河漫滩与高级别河谷阶地，人口较为稀疏[33]。

3 讨 论

对比以往研究，兰州市人口空间变动与东部大城市表现出不同的特征：一是不同于北京、上海、广州等东部发达地区中心城区人口出现下降趋势[16-18]，兰州市中心城区人口仍保持增长，中心城区拥有相对完善的公共服务设施、生活方便，人口、经济始终处于聚集状态。二是东部平原大城市的人口郊区化多表现为由中心城区向近郊区再到远郊区的“渐进式”推进[16-17]，而兰州市则为从中心城区向远郊区的“跳跃式”扩散。由于中心城区南北两山的阻隔与内部黄河的分割导致土地资源有限且不连续，这种情况下，城市跳出原有空间，寻求新的发展空间，导致工业及人口的郊区化，形成卫星城镇[33]。《兰州市城市总体规划(2011—2020年)》提出加强兰州新区与中心城区协调发展，促进中心城区人口与功能向兰州新区疏解。根据人口空间格局演变特征，未来在打造多中心城市空间结构的同时，有序引导人口郊区化，不断完善郊区新城功能，通过规划建设快速轨道交通系统强化中心城区与远郊区的联系，实现产业结构和居住空间的同步转换。

本研究一定程度上丰富了城市内部街区尺度人口分布驱动因子及非线性关系的定量研究，也对优化城市人口布局和城市规划调控政策具有重要的参考价值。仍存在一些不足：在影响因素分析中，囿于2000年街区尺度高德POI数据获取难度较大，选用2005年中国电信兰州黄页各类设施场所名录数据进行替代，结果可能存在一定偏差。同时，城市人口空间分布还应受个体偏好及家庭行为因素的影响，今后考虑结合调查问卷数据从人口属性、人口迁移等方面进行更为深入的机制探讨。

4 结 论

(1) 从人口密度变化来看，近20 a兰州市不同时段、不同地域的人口密度差异显著。人口高密度街区数量不断增多，中密度街区有所减少，低密度街区变动不大，人口分布呈现向心集聚和离心分散并存的特点。

(2) 从人口偏移增长时空特征来看，2000年前实现人口正偏移增长的街区中，中心城区占比最高，而2010年后转变为远郊区，特别是国家级新区、开发区所在地人口增长更为明显，呈现出“飞地型”人口集聚特征。

（3）从驱动因素来看，自然因素、经济因素、社会发展水平、历史区位是人口空间格局演变的主要驱动力，政策因素与环境舒适度因素的影响逐步提升，且各重要驱动因子对人口分布的影响作用呈现非线性特征。

参考文献（References）

[1] 王新贤, 高向东. 中国流动人口分布演变及其对城镇化的影响——基于省际、省内流动的对比分析[J]. 地理科学, 2019, 39(12): 1866-1874. [Wang Xinxian, Gao Xiangdong. The evolution of China's floating population and its impact on urbanization: A comparative analysis based on inter- and intra-provincial perspectives[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(12): 1866-1874.]

[2] 李志刚, 刘达, 林赛南. 中国城乡流动人口"回流"研究进展与述评[J]. 人文地理, 2020, 35(1): 1-10. [Li Zhigang, Liu Da, Lin Sainan. A literature review of the study on return floating population in China[J]. Human Geography, 2020, 35(1): 1-10.]

[3] 余运江, 任会明, 高向东. 中国城市人口空间格局演化的新特征——基于2000—2020年人口普查数据的分析[J]. 人口与经济, 2022, 254(5): 65-79. [Yu Yunjiang, Ren Huiming, Gao Xiangdong. Study on new characteristics of urban population spatial pattern evolution in China: Based on 2000—2020 national census data[J]. Population & Economics, 2022, 254(5): 65-79.]

[4] 魏湖滨, 戚伟, 刘盛和, 等. 新型城镇化背景下中国城市郊区化研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2022, 41(11): 2152-2164. [Wei Hubin, Qi Wei, Liu Shenghe, et al. Progress and prospect of suburbanization research in China under the background of new-type urbanization[J]. Progress in Geography, 2022, 41(11): 2152-2164.]

[5] 曾文, 张小林, 向梨丽, 等. 2000—2010年南京都市区人口空间变动特征研究[J]. 地理科学, 2016, 36(1): 81-89. [Zeng Wen, Zhang Xiaolin, Xiang Lili, et al. The features of population redistribution of Nanjing metropolitan area in 2000—2010[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(1): 81-89.]

[6] Clark C. Urban population densities[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1951, 114(4): 490-496.

[7] Smeed R J. The effect of some kinds of routing systems on the amount of traffic in central of towns[J]. Journal of Areas the Institution of Highway Engineers, 1963, 10: 5-26.

[8] Small K A, Song S F. Population and employment densities: Structure and change[J]. Journal of Urban Economics, 1994, 36(3): 292-313.

[9] Bontje M. Dealing with deconcentration: Population deconcentration and planning response in polynucleated urban regions in north-west Europe[J]. Urban Studies, 2001, 38(4): 769-785.

[10] Guterbock T M. The beginning and the end of urban population deconcentration in the United States: New insights from application of the density distribution index[J]. Cities, 2021, 118(4): 103349, doi: 10.1016/j.cities.2021.103349.

[11] Champion A G. A changing demographic regime and evolving polycentric urban regions: Consequences for the size, composition and distribution of city populations[J]. Urban Studies, 2001, 38(4): 657-677.

[12] Bagheri B, Soltani A. The spatio-temporal dynamics of urban growth and population in metropolitan regions of Iran[J]. Habitat International, 2023, 136: 102797, doi: 10.1016/i.habitatint.2023.102797.

[13] Guimond L, Simard M. Gentrification and neo-rural populations in the Québec countryside: Representations of various actors[J]. Journal of Rural Studies, 2010, 26(4): 449-464.

[14] Anniste K, Tammaru T. Ethnic differences in integration levels and return migration intentions: A study of Estonian migrants in Finland[J]. Demographic Research, 2014, 30(1): 377-412.

[15] 刘艳军, 汤爽爽, 吴康, 等. 经济地理学视角下中国人口研究热点与展望[J]. 经济地理, 2021, 41(10): 97-105. [Liu Yanjun, Tang Shuangshuang, Wu Kang, et al. Hotspots and prospects of population research in China from the perspective of economic geography[J]. Economic Geography, 2021, 41(10): 97-105.]

[16] 高向东, 张善余. 上海人口郊区化与城市可持续发展[J]. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(1): 78-82. [Gao Xiangdong, Zhang Shanyu. Study on suburanization and sustainable development in Shanghai[J]. China Population, Resources and Environment, 2002, 12(1): 78-82.]

[17] 冯健, 周一星. 近20年来北京都市区人口增长与分布[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 903-916. [Feng Jian, Zhou Yixing. The growth and distribution of population in Beijing metropolitan area (1982—2000) [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(6): 903-916.]

[18] 周春山, 罗彦, 陈素素. 近20年来广州市人口增长与分布的时空间演化分析[J]. 地理科学, 2004, 24(6): 641-647. [Zhou Chunshan, Luo Yan, Chen Susu. Spatial-temporal evolvement of growth and distribution of population in Guangzhou in recent twenty years [J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(6): 641-647.]

[19] 王芳莉, 党国锋. 近25 a甘肃省人口分布的时空格局及影响因素[J]. 干旱区地理, 2020, 43(2): 508-515. [Wang Fangli, Dang Guofeng. Spatiotemporal patterns of population distributions and influencing factors over 25 years near Gansu Province[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(2): 508-515.]

[20] 王超, 阚瑗珂, 曾业隆, 等. 基于随机森林模型的西藏人口分布格局及影响因素[J]. 地理学报, 2019, 74(4): 664-680. [Wang Chao, Kan Aike, Zeng Yelong, et al. Population distribution pattern and influencing factors in Tibet based on random forest model[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(4): 664-680.]

[21] 徐昀, 徐彦. 1928—2017年南京城市户籍人口时空格局演变. 地理学报[J]. 2022, 77(10): 2439-2456. [Xu Di, Xu Yan. Spatio-temporal pattern of registered population in Nanjing from 1928 to 2017[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(10): 2439-2456.]

[22] 张志斌, 潘晶, 李小虎. 近30年来兰州市人口密度空间演变及其形成机制[J]. 地理科学, 2013, 33(1): 36-44. [Zhang Zhibin, Pan Jing, Li Xiaohu. Spatial-temporal evolvement of growth and distribution of population in Guangzhou in recent twenty years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(1): 36-44.]

[23] 王婧, 刘奔腾, 李裕瑞. 京津冀人口时空变化特征及其影响因素[J]. 地理研究, 2018, 37(9): 1802-1817. [Wang Jing, Liu Benteng, Li Yurui. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of population distribution and floating changes in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Geographical Research, 2018, 37(9): 1802-1817.]

[24] 张文斌, 张志斌. 基于扩展生态位理论的居住空间分异研究——以兰州市为例[J].干旱区地理, 2023, 46(8): 1376-1386. [Zhang Wenbin, Zhang Zhibin. Residential spatial differentiation based on extended niche theory: A case of Lanzhou City[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(8): 1376-1386.]

[25] 郭杰, 杨永春, 冷炳荣. 1949年以来中国西部大城市制造业企业迁移特征、模式及机制——以兰州市为例[J]. 地理研究, 2012, 31(10): 1872-1886. [Guo Jie, Yang Yongchun, Leng Bingrong. Characteristics, models and mechanism of manufacturing enterprises migrations of large cities in western China since 1949: Taking Lanzhou as an example[J]. Geographical Research, 2012, 31(10): 1872-1886.]

[26] 王婧, 李裕瑞. 中国县域城镇化发展格局及其影响因素——基于2000和2010年全国人口普查分县数据[J]. 地理学报, 2016, 71(4): 621-636. [Wang Jing, Li Yurui. Spatial pattern and influencing factors of urbanization development in China at county level: A quantitative analysis based on 2000 and 2010 census data[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(4): 621-636.]

[27] 闫东升, 孙伟, 王玥, 等. 长江三角洲人口分布演变、偏移增长及影响因素[J]. 地理科学进展, 2020, 39(12): 2068-2082. [Yan Dongsheng, Sun Wei, Wang Yue, et al. Change in distribution and growth shifts of population in the Yangtze River Delta and influencing factors[J]. Progress in Geography, 2020, 39(12): 2068-2082.]

[28] 柏中强, 王卷乐, 杨雅萍, 等. 基于乡镇尺度的中国25省区人口分布特征及影响因素[J]. 地理学报, 2015, 70(8): 1229-1242. [Bai Zhongqiang, Wang Juanle, Yang Yaping, et al. Characterizing spatial patterns of population distribution at township level across the 25 provinces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(8): 1229-1242.]

[29] 古恒宇, 劳昕, 温锋华, 等. 2000—2020年中国省际人口迁移格局的演化特征及影响因素[J]. 地理学报, 2022, 77(12): 3041-3054. [Gu Hengyu, Lao Xin, Wen Fenghua, et al. Spatiotemporal patterns and determinants of interprovincial migration in China between 2000 and 2020[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(12): 3041-3054.]

[30] 田盼盼, 朱宇, 林李月, 等. 省际与省内流动人口空间分布及其影响因素的差异——以福建省为例[J]. 人口学刊, 2015, 37(6): 56-67. [Tian Panpan, Zhu Yu, Lin Liyue, et al. Differences in the spatial distribution and its determinants between inter- and intra-provincial floating population[J]. Population Journal, 2015, 37(6): 56-67.]

[31] 周春山, 朱孟珏. 转型期我国城市新区的空间效应及机理研究[J]. 城市规划, 2021, 45(3): 91-98. [Zhou Chunshan, Zhu Mengjue. A study on the spatial effect and growth mechanism of new urban district in transitional China[J]. City Planning Review, 2021, 45(3): 91-98.]

[32] 温婷, 蔡建明, 杨振山, 等. 国外城市舒适性研究综述与启示[J]. 地理科学进展, 2014, 33(2): 249-258. [Wen Ting, Cai Jianming, Yang Zhenshan, et al. Review and enlightenment of overseas urban amenity research[J]. Progress in Geography, 2014, 33(2): 249-258.]

[33] 杨永春, 汪一鸣. 中国西部河谷型城市地域结构与形态研究[J]. 地域研究与开发, 2000(4): 58-61. [Yang Yongchun, Wang Yiming. The research on territory structure of valley-city in the western China[J]. Areal Research and Development, 2000(4): 58-61.]

Spatial and temporal evolution and driving factors of population in Lanzhou City from 2000 to 2020

MA Xiaomin, ZHANG Zhibin, GUO Qianqian, ZHAO Xuewei, ZHANG Ning
(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: Utilizing data from population censuses conducted in 2000, 2010, and 2020, this study employs the offset-sharing analysis, the random forest model and other methods to examine the spatio-temporal evolution and driving factors of population distribution in Lanzhou City, Gansu Province, China, from 2000 to 2020. The findings reveal that: (1) Population growth exhibits significant differences across periods and regions in Lanzhou City, with clear suburbanization trends characterized by a "jumping" diffusion from the central urban area to the far suburbs. The central urban area remains the most populous, although its growth rate has slowed, while suburban growth is accelerating. Population in the far suburbs initially declined but later increased rapidly. (2) The population offset growth pattern in Lanzhou City is uneven. Taking 2010 as a pivotal year, blocks with positive population deviation growth were primarily located in the central urban area before 2010 but shifted to the far suburbs afterward, particularly in national new districts and development zones, which demonstrate "enclave" population agglomeration. (3) Natural factors, economic conditions, social development levels, and historical evolution are the main drivers of population spatial changes. Meanwhile, the influence of policy interventions and environmental comfort is increasingly significant. The impact of these driving factors on population distribution is nonlinear. These findings provide valuable insights for optimizing population distribution policies in inland cities of northwest China.

Key words: population distribution; spatial-temporal evolution; suburbanization; driving factors; random forest model; Lanzhou City